

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический
Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии
Кафедра Физико-энергетические установки

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Моделирование переходных процессов в реакторе ИРТ-Т

УДК 621.039.55.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2B	Молодов Павел Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ	А.Г. Наймушин	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	А.А. Сечина	к.х.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФЭУ ФТИ	О.Ю. Долматов	к.ф.-м.н., доцент		

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Общекультурные компетенции	
Р1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
Р2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
Р3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
Р4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
Р5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
Р6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
Р7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
Р8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
Р9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
Р10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт Физико-технический
 Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии
 Кафедра Физико-энергетические установки

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой ФЭУ
 _____ О.Ю. Долматов
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
0A2B	Молодову Павлу Александровичу

Тема работы:

Моделирование переходных процессов в реакторе ИРТ-Т
Утверждена приказом директора (дата, номер) 18.02.2016 №1333/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	- Тепловая мощность 6 [МВт] - Ядерное горючее UO_2 в алюминиевой матрице - Обогащение урана 90,1 % - Температура на входе 45 [°C] - Температура на выходе 51 [°C] - ТВС типа ИРТ-3М
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	- Выбор программно-методического обеспечения проведения расчета - Создание расчетной модели для анализа переходных процессов - Расчет штатных и аварийных режимов работы - Нахождение передаточной функции системы и анализ реактора на устойчивость
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	- Презентация - Чертеж восьмитрубной ТВС типа ИРТ-3М

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	А.А. Сечина
Социальная ответственность	Т.С. Гоголева
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	
нет	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.05.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ФЭУ	А.Г. Наймушин	к.ф.-м.н.		16.05.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2B	Молодов Павел Александрович		16.05.2016

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0A2B	Молдову Павлу Александровичу

Институт	ФТ	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерные реакторы и энергетические установки

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Иерархическая структура работ Календарный план-график реализации проекта
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	А.А. Сечина	к.х.н.		16.05.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2B	Молодов Павел Александрович		16.05.2016

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0A2B	Молодову Павлу Александровичу

Институт	ФТ	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерные реакторы и энергетические установки

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:	<ul style="list-style-type: none"> – вредные факторы производственной среды: повышенный уровень электромагнитных полей, отклонение показателей макроклимата от оптимальных, ионизирующее излучение от ПЭВМ; – опасные факторы производственной среды: вероятность возникновения пожара, вероятность поражения электрическим током.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность; – пожарная безопасность; – требование охраны труда при работе с ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	<ul style="list-style-type: none"> – электромагнитные поля от ЭВМ; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью; – предлагаемые средства защиты.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		16.05.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2B	Молодов Павел Александрович		16.05.2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический
Направление подготовки (специальность) 14.03.02 Ядерные физика и технологии
Уровень образования высшее
Кафедра Физико-энергетические установки
Период выполнения (весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
16.05.2016	<i>Выдача задания</i>	
19.05.2016	<i>Определение состава и принципа действия системы</i>	
26.05.2016	<i>Качественный анализ надёжности системы</i>	
02.06.2016	<i>Построение логического «дерева» отказов</i>	
09.06.2016	<i>Количественный анализ надёжности системы</i>	
20.06.2016	<i>Сдача работы</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ	А.Г. Наймушин	к.ф.-м.н.		16.05.2016

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФЭУ	О.Ю. Долматов	к.ф.-м.н., доцент		16.05.2016

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 81 с., 13 рис., 18 табл., 11 источников, 4 прил., 1 чертеж.

Ключевые слова: реактор, моделирование, нейтронно-физический расчет, теплогидравлический расчет, реактивность, штатные и аварийные режимы работы, устойчивость.

Объектом исследования является исследовательский ядерный реактор ИРТ-Т мощностью 6 МВт с топливом UO_2 в алюминиевой матрице, обогащением 90,1 % по U^{235} и с водяным теплоносителем.

Цель работы – расчет переходных процессов в реакторе ИРТ-Т, вызванных введением реактивности и потерей циркуляции теплоносителя.

В процессе исследования была создана модель реактора ИРТ-Т в среде Matlab/Simulink, произведен расчет финансовой составляющей работы, описаны внешние факторы, влиявшие на выполнение работы. В результате исследования произведён связанный нейтронно-физический и теплогидравлический расчет реактора ИРТ-Т в штатном режиме работы, произведен анализ аварийных режимов работы, вызванных непреднамеренным введением реактивности и потерей циркуляции теплоносителя, найдена передаточная функция системы и произведен анализ реактора на устойчивость.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: реактор ИРТ-Т, тепловая мощность – 6 МВт, ядерное горючее – UO_2 в алюминиевой матрице, обогащение 90,1 %, теплоноситель – обессоленная вода, твэлы – трубчатые, квадратного сечения, с наружным охлаждением, материал оболочек твэлов – сплав САВ-1.

Степень внедрения: высокая, проект может использоваться в настоящее время и при продолжении дальнейших исследований.

Область применения: ядерная энергетика.

Экономическая эффективность/значимость работы высокая. В будущем планируется продолжение более детального расчета реактора данного типа.

Перечень определений

аварийный режим работы: Режим работы при крупных отказах оборудования, систем автоматики и ошибках персонала.

исследовательский ядерный реактор: Устройство для экспериментальных исследований, состав и геометрия которого позволяют осуществлять управляемую ядерную реакцию деления, эксплуатируемое на мощности, требующей принудительного охлаждения и (или) оказывающей влияние на его нейтронно-физические характеристики.

переходный процесс: Реакция динамической системы на приложенное к ней внешнее воздействие с момента приложения этого воздействия до некоторого установившегося во времени значения.

проектная авария: Авария, для которой проектом определены исходные и конечные состояния радиационной обстановки и предусмотрены системы безопасности.

штатный режим работы: Режим работы, предусмотренный инструкциями по эксплуатации.

Обозначения и сокращения

ИРТ-Т	– исследовательский реактор типовой-Томский;
Твэл	– тепловыделяющий элемент;
ТВС	– тепловыделяющая сборка;
СУЗ	– система управления и защиты;
Стержень АЗ	– стержень аварийной защиты;
КС	– компенсирующие стержни;
РО СУЗ	– рабочий орган системы управления и защиты.

Содержание

Введение.....	14
1 ОПИСАНИЕ СИСТЕМ РЕАКТОРА ИРТ-Т.....	15
1.1 Общая характеристика реактора	15
1.2 Активная зона реактора.....	16
1.3 Характеристики тепловыделяющих сборок.....	18
1.4 Нейтронно-физические характеристики реактора	19
1.5 Теплогидравлические характеристики активной зоны	21
1.6 Система охлаждения	22
1.7 Система аварийной защиты	25
2 МЕТОДИКА РАСЧЕТА	27
2.1 Модель нейтронной кинетики	28
2.2 Теплогидравлическая модель	29
2.2.1 Определение расхода теплоносителя через активную зону	31
2.3 Модель реактивности	32
2.4 Модель реактора ИРТ-Т	33
2.5 Расчет штатных и аварийных режимов работы реактора ИРТ-Т	34
2.5.1 Анализ переходного процесса при извлечении стержня КС-3 на уровне мощности 1 КВт	34
2.5.2 Анализ проектной аварии, вызванной непреднамеренным извлечением группы рабочих органов СУЗ из стационарного критического состояния	36
2.5.3 Анализ проектной аварии, вызванной остановом одного из двух насосов 1-го контура	38
2.6 Критерий устойчивости линейной системы.....	39
2.7 Решение задачи на устойчивость реактора ИРТ-Т.....	41
3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	47
3.1 QuaD-анализ конкурентных технических решений	47
3.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	49

3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	49
3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	50
3.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	51
3.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	54
3.3.1 Расчёт материальных затрат НТИ	55
3.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы	57
3.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	60
3.3.4 Накладные расходы	60
3.3.5 Формирование бюджета затрат НТИ	61
4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	62
4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	62
4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ	64
4.2.1 Организационные мероприятия	64
4.2.2 Технические мероприятия	64
4.3 Условия безопасной работы	67
4.4 Электробезопасность	69
4.5 Пожарная и взрывная безопасность	70
Заключение	72
Список публикаций	73
Список использованных источников	75
Приложение А	77
Приложение Б	78
Приложение В	79
Приложение Г	80

Введение

На сегодняшний день безопасность ядерных реакторов является приоритетной задачей мирового ядерного сообщества. Для достижения требуемого уровня безопасности необходимо обладать знаниями о процессах, протекающих в активной зоне ядерного реактора. С развитием информационных технологий, помимо непосредственных измерений физических характеристик, используются компьютерные модели, симулирующие различные аспекты работы ядерной установки. Такой подход позволяет оценить критичные характеристики реакторов еще на стадии проектирования.

Реактор ИРТ-Т – исследовательский реактор бассейного типа с использованием в качестве замедлителя, теплоносителя и верхней защиты обессоленной воды и бериллия в качестве отражателя. В качестве топлива используется высокообогащенное дисперсное топливо в алюминиевой матрице.

Работы по созданию расчетной модели исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т в целях обоснования безопасности его эксплуатации являются актуальными и практически значимыми ввиду изменения параметров нейтронных и температурных полей после проведенной модернизации активной зоны реактора.

Целью данной работы является расчет переходных процессов в реакторе ИРТ-Т, вызванных введением реактивности и потерей циркуляции теплоносителя.

Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

- выбор программно-методического обеспечения проведения расчета;
- создание расчетной модели;
- расчет штатных и аварийных режимов работы;
- получение передаточной функции системы и анализ системы на устойчивость.